

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040120

聲子晶體內部聲波強弱分佈的研究

學校名稱：嘉義縣私立協同高級中學

作者：	指導老師：
高二 鍾明憲	張世欣
高二 陳昱達	郭建載
高二 陳俊銘	
高二 李韻立	

關 鍵 詞：聲子晶體、波導裝置、共振腔

聲子晶體內部聲波強弱分佈的研究

摘要

我們製造一個類似六方最密堆積的二維聲子晶體裝置，測量聲子晶體內部聲音強弱分佈情形。結果顯示出低穿透率頻率的聲波，在晶體內部會先行聚焦再朝特定方向傳播的現象。一個具有空腔的聲子晶體，聲波在空腔內可以形成駐波形式的強弱分佈，同時該頻率聲音的穿透率也相對的低了許多。

一、前言

光子晶體的應用與發展，因著奈米製造技術的逐漸成熟使的越來越多人投入其相關領域的研究[1-4]，利用折射率的差異構造出一個週期性排列的結構，使得入射光線可以在光子晶體內部被引導到定歸方向作為波導裝置、製造缺陷使得在穿透率較差的頻率範圍中，產生一穿透率較為突出的特定頻率作為研究、期待利用光子晶體對光侷限的作用，作為雷射共振腔等等，相關的研究皆利用到光在光子晶體內的兩個特性：(a)光在不同折射率介質中傳播時在界面所產生的部分反射與折射，(b)光子晶體對入射光頻率穿透與否的選擇性。有趣的是聲波在刻意製造出的週期性排列結構中，所產生的現象皆與光子晶體相似，甚至簡易的理論計算模型都可以互相通用[5]，因此利用週期性結構作為聲波波導、共振、用來模擬不易製造的光子晶體的現象、觀察聲波的負折射現象等等實驗也獲得許多研究學者的重視[6-7]。這些研究聲波所使用類似光子晶體的結構裝置，被稱為「聲子晶體 sonic crystals or phononic crystals」。光子晶體的製作需用到奈米級的設備，但是聲子晶體所探討的聲波頻率範圍通常介於 0 ~ 2000 Hz，卻是高中生可以製造的。

本實驗著重在研究聲波在聲子晶體中共振時，內部每一點聲波振幅的量測。從文獻中我們發現大部分的研究，對聲子晶體內部實際聲波振幅的分佈，都以理論模擬圖形為主[8](光子晶體因著結構大小在微米以下，更加無法實際測量出光子晶體內部的實際強弱分佈。)，我們參考 F. Cervera 等人，於 2002 年發表在 PRL 上的研究[9]，製造一個類似六方最密堆積的二維聲子晶體裝置(參考右圖 1)，利用訊號產生器調製出我們所想要的聲波，再以麥克風作為測量聲波強弱的偵測器，以示波器觀察聲波在示波器上產生的振



圖1:本實驗所用的聲子晶體形狀，以圓柱木條為結構，木條與木條間距為3cm，採六方最密堆積形式。

幅，測量聲子晶體內部聲音強弱分佈情形。測量結果顯示出高穿透率的聲波頻率，在晶體內部會產生聲波先行聚焦再朝特定方向傳播的現象，同時負折射在聚焦作用上產生關鍵性的作用。對一個具有空腔的聲子晶體，聲波在空腔內不同區域可以形成共振模的強弱分佈，將聲音侷限其內，同時聲音穿透率也相對的低了許多。

二、實驗裝置

如下圖二所示，喇叭自聲子晶體其中一側將聲音送入晶體內部，麥克風自上方鉛直置入圓柱木條中，麥克風所測得的訊號，經過擴大器擴大後經由示波器讀取聲波所產生的振幅。

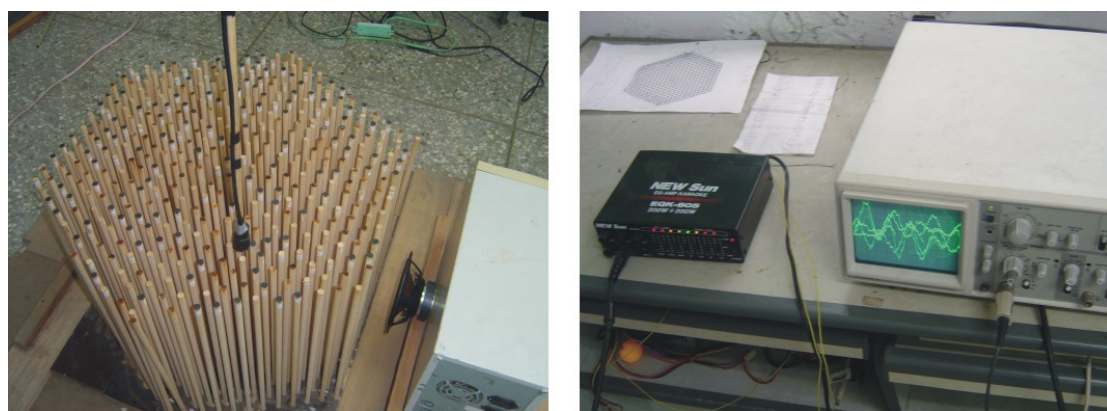


圖2:實驗裝置

三、實驗步驟

1. 分別利用低音喇叭(100Hz~2000 Hz)及中高音喇叭(2000Hz~8000 Hz)，產生不同頻率的聲波，麥克風在喇叭的正對面測量聲波強度 A ，予以紀錄。
2. 將聲子晶體放置在麥克風與喇叭的中間，重複步驟 1，紀錄聲波穿透過晶體的強度 A' 。
3. 找出穿透率較低的頻率，固定頻率下將麥克風逐一置入每一個圓柱木條的空隙中，測量每一個空隙內的聲波強度，將所得的結果予以繪圖。
4. 除去晶體正中央處的木條，形成一個六角形的空腔(參考右圖 3)，針對穿透率低的頻率與以固定，以麥克風測量空腔內聲波的強弱分佈，並予以繪圖。

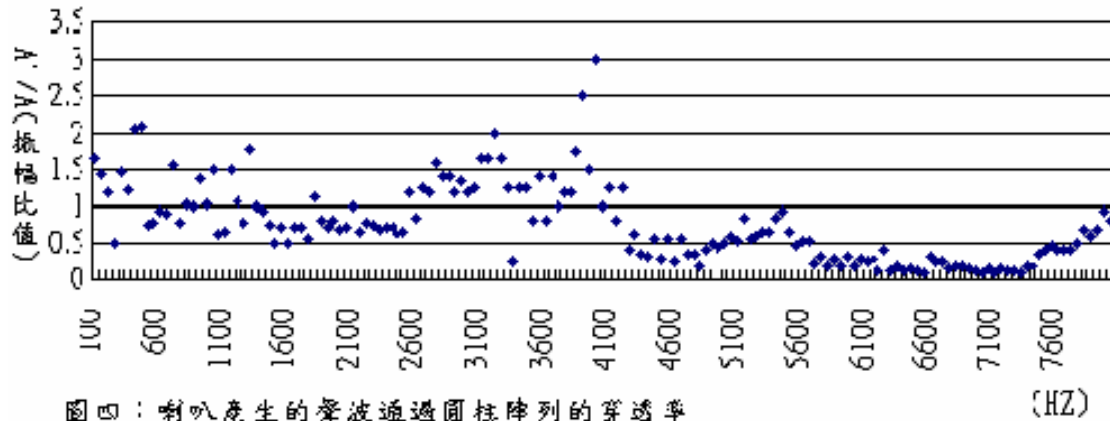


圖3：空腔的構造

四、數據與分析

1. 聲波穿透率的測量

我們利用喇叭產生 100Hz~8000 Hz 的聲波，將穿透聲子晶體的聲波強度 A' 與未置入聲子晶體前的聲波強度 A 的比值(穿透率)對頻率繪出下面圖四：



從圖四中可以發現聲子晶體有兩個相當明顯的吸收帶 1400Hz ~ 2600Hz 及 4250Hz ~ 7950Hz，同時在 4000Hz 處產生最大的穿透強度，並且將聲音振幅放大至 3 倍。對於聲子晶體阻隔在音源與麥克風中間，不但未使聲音強度減弱，反而使得聲音穿透率 $A'/A > 1$ 的現象，我們認為這是聲子晶體將聲波侷限在其內部傳導，使得聲音不易因著擴散而衰減。未置入聲子晶體時，聲波在沒有障礙物的自由空間中傳播可以自由擴散，聲波衰減幅度反而較置入聲子晶體時來的明顯。因此聲波經過聲子晶體到達麥克風處的振幅反而較未經過聲子晶體時大，導致穿透率 $A'/A > 1$ 。

2. 晶體處在聲波吸收帶頻率時內部的物理機制

對於圖四中兩個頻率範圍在 1400Hz ~ 2600Hz 及 4250Hz ~ 7950Hz 的吸收帶，我們認為是聲波在晶體內部被侷限吸收，聲波在晶體內部以駐波形式共振，與晶體產生強烈的交互作用所致。為了更加了解聲波在晶體內部的物理作用與機制，我們選擇在 4250Hz ~ 7950Hz 吸收帶的其中一點 6700Hz 頻率作為音源，測量聲波在每個圓柱陣列空間中的強度，並按照測得的聲波強度，以不同的灰階程度予以上色，如下頁圖五所示：

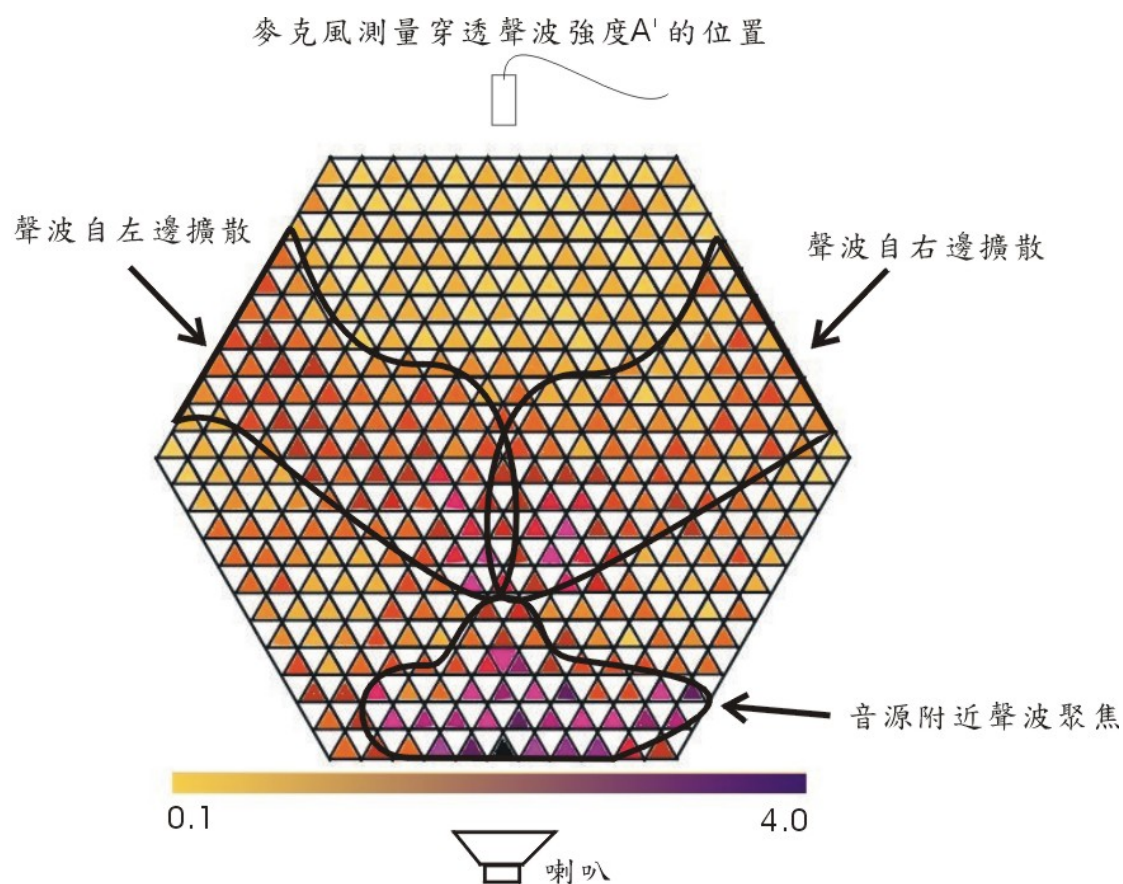
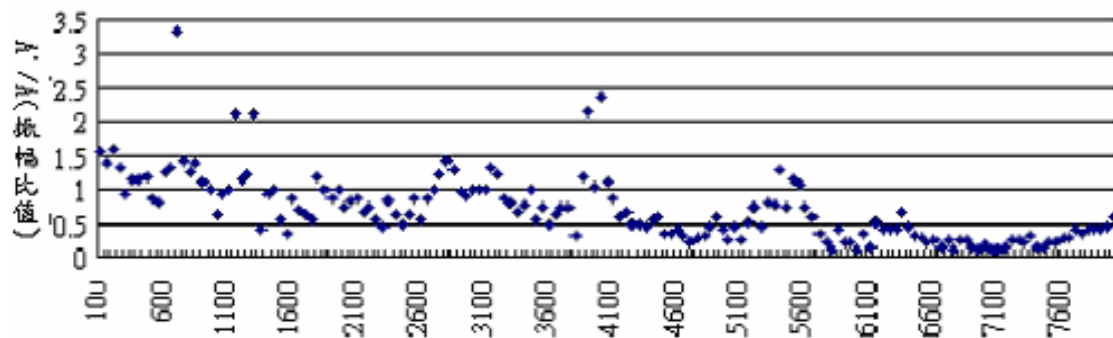


圖5:6700Hz的聲波在晶體內部的強度分佈

上圖 5 顯示出聲波在晶體內部的傳播方式，聲音自喇叭發出進入晶體內部後，並未擴散開來，反而先向晶體的中央處集中聚焦，接著並未向著正前方傳播，卻是朝著左右兩側擴散開來。導致放置在正對面處的麥克風測得的聲波強度減弱，使得穿透率 $A'/A \approx 0.2$ 。此時的聲子晶體似乎成了波導裝置，引導著聲波朝特定左右兩側方向傳播。

3. 聲子晶體內部形成共振腔的觀測

為了更加印證穿透率下降是因為聲波在晶體內部形成駐波的想法，我們將晶體中央處的圓柱木條拔除，製造出一個正六邊形的空腔。我們對此一去有空腔的聲子晶體裝置測量其穿透率，繪圖如下圖六：



圖六：喇叭產生的聲波通過圓柱陣列的穿透率 (HZ)

由上圖六我們可以發現波的趨勢無太大的變化，吸收帶由原本的 1400Hz ~ 2600Hz 及 4250Hz ~ 7950Hz 擴大成 1350Hz ~ 3800Hz 及 5600Hz ~ 8000Hz。我們將低穿透率頻率的聲波導入晶體內部，測量空腔內是否有駐波型態的分佈。為了使產生的駐波空間分佈較易測量，我們選擇 1350Hz ~ 3800Hz 吸收帶穿透率的最底的 1550Hz 作為波源，共振腔的深度為 50cm，我們利用麥克風觀測共振腔內不同高度 20cm、25cm、30cm 及 35cm 的水平面位置，聲波強弱分佈的情形，結果如下圖 7 所示：



圖7. 聲波在共振腔中的強弱分佈，虛線圈為之處強度為較鄰近強度大的區域。

從圖 7 中可以發現在共振腔約一半深度的位置 25cm~35cm，聲波在其中形成駐波形式，圖中下方為聲音進入面，上方的空間因離聲源較遠振幅較小，但是仍可看出聲波強度由強變弱，由弱又變強的分布。證明聲子晶體對聲波頻率的吸收，主要是該聲波可以在晶體內部形成駐波形式的振動模式使然，因此可以利用晶體對該頻率吸收強烈的特性，我們可在晶體內部製造一個空腔作為聲音共振腔使用。

五、結論

我們製作一個聲子晶體觀測其吸收聲譜發現聲子晶體與聲波產生物理作用的四個特徵如下：

1. 聲子晶體可以侷限聲波的擴散使得通過晶體後的聲波穿透率 $A'/A > 1$ 。
2. 聲波在晶體內部可被引導到晶體的兩側，產生波導的現象，導致麥克風處偵測到的聲波強度減弱。
3. 當聲波在晶體內部以駐波的形式存在時，穿透率會大幅下降，此時晶體內部具有相當明顯的駐波形式分布。
4. 利用聲子晶體對一特定頻率範圍產生共振吸收的特性，我們證明利用晶體內部的空間，作為聲波共振腔是可行的。

參考文獻

- [1] Attila Mekis, J.C. Chen, I. Kurland, Shanhui Fan, Pierre R. Villeneuve, and J.D. Joannopoulos, Phys. Rev. Lett. **77**, 3787 (1996)
- [2] Eli Yablonovitch, Phys. Rev. Lett. **58**, 2059 (1987)
- [3] H. Benisty et al., Appl. Phys. Lett. **76**, 532 (2000)
- [4] Mohan Srinivasarao et al., Science, **292**, 79 (2001)
- [5] A. M. Kosevich, JETP Letters Vol. **74** No.11 (2001)
- [6] Zhengyou Liu et al., Science Vol. **289**, 1734 (2000)
- [7] A. Khelif et al., Phys. Rev. B **68**, 214301 (2003)
- [8] N. Garcia et al., Phys. Rev. E **67**, 046606 (2003)
- [9] F. Cervera et al., Phys. Rev. Lett. **88**, 023902 (2002)

評語

040120 聲子晶體內部聲波強弱分佈的研究

本作品利用簡單的木條組成聲子晶體，量測聲波在晶體內部的干涉現象，是很有趣的實驗，報告所附的參考文獻也很詳細，若能再進一步討論較複雜的現象(例如多個聲波源)，或可使本作品更有創意。